

## ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA UMIDADE DA MADEIRA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE PROGAÇÃO DE ONDAS ULTRA-SÔNICAS DE COMPRESSÃO

**PINTO, João Mário Andrade, Dr.**

Universidade FUMEC:

<http://www.fumec.br>; email: [jmap@fumec.br](mailto:jmap@fumec.br)

**CIMINI Jr., Carlos Alberto, Ph.D.**

Universidade Federal de Minas Gerais:

<http://www.ufmg.br>; e-mail: [cimini@ufmg.br](mailto:cimini@ufmg.br)

### Resumo

A madeira, sendo um material higroscópico, tem suas propriedades mecânicas e elásticas afetadas por condições ambientais. Sendo assim, a relação de dependência de propriedades da madeira com a variação do teor de umidade tem merecido, há muito tempo, a atenção de pesquisadores de todo o mundo. Um dos grandes avanços na caracterização de materiais, tanto do ponto de vista mecânico quanto de qualidade, foi a aplicação de técnicas não destrutivas, denominadas como END – Ensaio Não Destrutivo, destacando-se dentre elas o uso do ultra-som. No entanto, da mesma forma que as propriedades mecânicas e elásticas, sabe-se que a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas na madeira é afetada pela umidade, o que torna a quantificação dessa influência de fundamental importância para a análise e a projeção de resultados obtidos nas mais diversificadas propostas de estudos que envolvam a aplicação do método do ultra-som. Esta pesquisa teve, portanto, o objetivo de estudar a quantificação da umidade na madeira em função da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas de compressão (longitudinais). As espécies de madeira escolhidas para esse estudo foram *cloeziana*, *grandis* e *urophylla* do

gênero *Eucalyptus* em vista de suas excelentes propriedades para aplicação na construção civil e na indústria moveleira. Os resultados permitiram concluir que a equação linear foi um modelo adequado para representar a variação da umidade em função da velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas.

Palavras-chave: eucalipto, ultra-som, umidade.

### Abstract

Wood is hygroscopic and therefore has its elastic and mechanical properties affected by environmental conditions. The dependence of wood properties upon moisture levels has long received attention from researchers all over the world. Material characterization research advances made in recent years, both from the mechanical and the quality control points of view, led to the application of non-destructive techniques known as NDT - Nondestructive Testing, among them the use of ultrasound. However, it is known that ultrasound wave propagation velocity in wood is affected by moisture, as well as by its mechanical and elastic properties. Therefore, it is important to identify moisture content by means of ultrasound method so that its influence on wood mechanical performance could be quantified for different applications. This work aims to study the quantification of moisture content in wood by means of the ultrasound compression wave (longitudinal) propagation velocity. The wood species chosen for this study were *cloeziana*, *urophylla* and *grandis* of the genus *Eucalyptus* because of their excellent properties for application in the construction and furniture industry. The results showed that the linear equation was the most appropriate model to represent the variation of moisture depending on the propagation velocity of ultrasonic waves.

Keywords: eucalyptus, ultrasound, moisture.

## INTRODUÇÃO

A madeira, como muitos materiais naturais, é higroscópica, fazendo com que haja constante troca de umidade com o ambiente. A troca de umidade entre a madeira e o ambiente depende da umidade relativa, da temperatura do ar e do teor de umidade da madeira. Esta relação de umidade tem importante influência sobre as propriedades da madeira e, portanto, no seu desempenho. Muitos dos desafios para uso de madeira como material de engenharia têm sua origem nas alterações de seu teor de umidade (USDA Technical Report, 2010). Assim, o uso efetivo da madeira como material de engenharia requer um método eficiente e confiável de medida de seu teor de umidade.

Um dos grandes avanços obtidos na caracterização de materiais, tanto do ponto de vista mecânico quanto de qualidade, é a aplicação de técnicas não destrutivas denominadas END – Ensaios Não Destrutivos, destacando-se, dentre elas, o uso do ultra-som. No entanto, da mesma forma que as propriedades mecânicas e elásticas, sabe-se que a velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas na madeira é afetada pela umidade, o que torna a quantificação desta influência de fundamental importância para a análise e a projeção de resultados obtidos nas mais diversificadas propostas de estudos que envolvam a aplicação do método do ultra-som.

No Brasil, as pesquisas sobre o uso da técnica de ultra-som para a caracterização da madeira tiveram início em 1997. De lá para cá, foram registrados avanços, embora os estudos nessa área ainda sejam incipientes no Brasil, em comparação com o que acontece nos países mais desenvolvidos (ALVES FILHO, 2013). Assim, é relevante realizar pesquisas sobre esse tema, principalmente no Estado de Minas Gerais que é líder no “desenvolvimento sustentável do Sistema Agroindustrial de Base Florestal, no qual possui tradição, massa crítica científica e empresarial e grande vantagem competitiva em negócios” (SECT-MG, 2012).

A velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas na madeira é afetada por diversos fatores,

tais como teor de umidade, propriedades anatômicas (espécie), físicas (massa específica), morfológicas (tipos de lenhos e ângulo da grã), presença de defeitos (nós e rachaduras), características dos transdutores, tipos de ondas e métodos de ensaio (BUCUR e BÖHNKE, 1994; KAWAMOTO e WILLIAMS, 2002; CARRASCO e AZEVEDO JR., 2003; OLIVEIRA *et al.*, 2005a). Além disso, em vista da heterogeneidade da madeira, vários outros fatores provocam dispersão nos resultados da velocidade ultra-sônica. Desse modo pode-se considerar que a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas assim como as medidas das propriedades físicas e mecânicas da madeira tem uma forte componente aleatória. Assim, a modelagem estatística não só é apropriada como necessária.

A velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas diminui à medida que o teor de umidade da madeira aumenta. Essa velocidade de propagação varia nos trechos que correspondem ao teor de umidade da madeira verde até o Ponto de Saturação das Fibras (PSF) e, deste ponto, até a madeira completamente seca. Essa variação de velocidade apresenta-se mais significativa para teores de umidades inferiores ao PSF, tal como ocorre com as propriedades elásticas da madeira (OLIVEIRA *et al.*, 2005a; SIMPSON, 1998; GONÇALVES e COSTA, 2002; COSTA, 2005).

Van Dyk e Rice (2005) analisaram a madeira *Picea sp.* sob distintos níveis de umidade e submetidas a diferentes temperaturas (24°C, 10°C, 0°C e -6,8°C). Observaram que a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas diminuiu linearmente com o aumento da temperatura. Os efeitos de perda de umidade e do congelamento sobre a velocidade foram atribuídos ao aumento da rigidez. Da mesma forma, Grundström (1998) também observou declínio linear da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas com o aumento da temperatura em chapas aglomeradas a temperaturas variando na faixa de 20°C a 115°C. Este mesmo comportamento foi observado por Green *et al.* (1999) quando do aumento da umidade relativa do ar e da temperatura de diversos compósitos de madeira.

Bucur, Lacleur e Roge (2002) e Oliveira *et al.*

(2005a) descreveram a influência da espécie sobre a propagação das ondas. Segundo esses autores, na direção longitudinal, o aumento do comprimento das fibras favorece a propagação das ondas.

Foi neste contexto que este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de determinar o teor de umidade da madeira *Eucalyptus*, um gênero de rápido crescimento comumente usado para substituição de madeira proveniente de florestas nativas, utilizando técnicas de END, a fim de permitir a sua utilização eficiente nas indústrias da construção civil e de fabricação de mobiliário. O objetivo deste trabalho foi estabelecer um modelo matemático que correlaciona o teor de umidade a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas utilizando três espécies de madeira do gênero *Eucalyptus*: *grandis*, *urophylla* e *cloeziana*. Essas espécies foram escolhidas em vista de que suas densidades serem, respectivamente, 640 kg/m<sup>3</sup>, 739 kg/m<sup>3</sup> e 822 kg/m<sup>3</sup>, permitindo, com isso, chegar-se em um modelo com aplicação em madeiras com três distintas densidades. Essa opção foi considerada devido ao fato de que a densidade da madeira é um dos fatores que afetam a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas (BUCUR e BÖHNKE, 1994). Com isso, pode-se estabelecer um modelo com maior abrangência de aplicação.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Coleta e preparo do material

Foram adquiridos corpos de prova de duas madeiras distintas de forma que os resultados fossem abrangentes o suficiente para que os modelos obtidos pudessem ser utilizados em quaisquer tipos de estruturas de madeira das espécies utilizadas, além do fato de garantir que a variação nos resultados seja aleatória. A definição das dimensões dos corpos de prova foi baseada na norma NBR 7190/97 (1997), Anexo B, item B.5.3. Nessa norma, os corpos de prova para ensaio de umidade devem possuir forma prismática com dimensões  $a = 2,0$  cm,  $b = 3,0$  cm e  $h = 5,0$  cm (Figura 1).

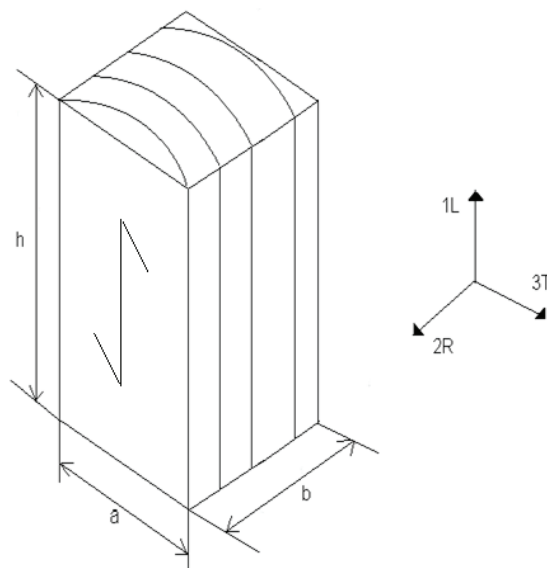


Figura 1 - corpo de prova para determinação da umidade da madeira

Essas dimensões, definidas nessa norma, são para corpos de prova de ensaios convencionais de umidade. Para o caso de ensaio por ultra-som, tendo em vista que as dimensões da seção transversal do transdutor superam às desses corpos de prova, foi necessário ampliar as dimensões em 100% para que o campo sônico não sofra interferência devido à formação de ondas indesejáveis (OLIVEIRA *et al.*, 2005b). Desse modo, as dimensões dos corpos de prova utilizados ficaram com  $a = 4,0$  cm,  $b = 6,0$  cm e  $h = 10,0$  cm.

Para a realização dos ensaios foram utilizados 12 corpos de prova de cada espécie. No caso do *Eucalyptus cloeziana* não foi possível realizar ensaios de ultra-som nos corpos de prova para ensaios de umidade porque os mesmos fissuraram ao ar não sendo possível o aproveitamento de nenhum deles.

### Acoplante

O acoplante utilizado foi a metilcelulose, que é um produto a base de carboximetilcelulose em forma de pó. Em contato com água, a carboximetilcelulose emulsiona formando um gel que torna possível o ensaio por ultra-sonografia, eliminando o ar da interface entre

a peça e o transdutor. Dentre os acoplantes mais utilizados, esse acoplante possui a menor diferença de impedância acústica em relação à madeira, transmitindo assim a maior fração da energia sônica. A mistura foi na proporção de 1g de metilcelulose para cada 11,33g de água e armazenado em sacos plásticos para não perder umidade e, assim, suas propriedades.

## Equipamento

O equipamento de ultra-som utilizado foi o V-METER MK III (Figura 2a), fabricado pela empresa NDT James Instruments Inc., U.S.A. Esse aparelho mede diretamente a velocidade da onda, em m/s. O transdutor utilizado foi o de face plana de 150kHz (Figura 2b).

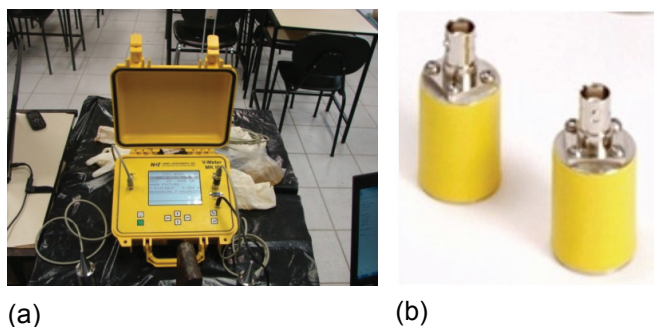


Figura 2 - Aparelho de ultra-som, V-METER MK III (a) e transdutor de face plana de 150 kHz (b).

Foram ainda utilizados os seguintes equipamentos:

- paquímetro digital Mitutoyo CDC-6"CSX-B com precisão de 0,01 mm e fundo de escala de 150 mm;
- paquímetro digital Mitutoyo CD-24"C com precisão de 0,01 mm e fundo de escala de 600 mm;
- balança digital LÍDER B/116 com capacidade máxima de 5 kg, fundo de escala de 20 g e precisão de 1 g
- estufa para esterilização e secagem Odontobrás, modelo EL 1.3, com temperatura variando de 0°C a 250°C, em degraus de 5°C.

## Procedimento de teste

De acordo com a NBR 7190/97 (1997), Anexo B, item B.5.2, define-se como teor ou conteúdo de umidade da madeira a relação entre a massa de água nela contida e a massa da madeira seca, ou seja,

$$U(\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100\% \quad (1)$$

em que corresponde à massa inicial úmida e à massa da madeira seca.

Assim, cada corpo de prova foi pesado, medido cuidadosamente e determinado o valor da velocidade de propagação da onda ultra-sônica. Os testes de ultra-som foram realizados na direção longitudinal (L, na Figura 1).

A secagem foi realizada em estufa a uma temperatura média de  $(60 \pm 3)^\circ\text{C}$ . Durante o processo de secagem, os corpos de prova foram individualmente retirados da estufa, a intervalos de aproximadamente quatro horas, para a determinação da velocidade de propagação da onda ultra-sônica, sendo imediatamente repostos na estufa. Neste mesmo instante, foi também realizada a pesagem para a determinação do seu teor de umidade, conforme Equação (1).

## Análise estatística

A variação do teor de umidade para as diferentes espécies do gênero *Eucalyptus* em função da velocidade de propagação de onda ultra-sônica foi estatisticamente analisada aplicando o método de Análise de Regressão, utilizando software específico para análise estatística (MINITAB® v.15.1).

Assim, a variável resposta é teor de umidade e as variáveis preditoras são: velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas; variáveis indicadoras (variáveis *dummy*)  
As variáveis indicadoras foram definidas como:

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

$$I_c = \begin{cases} 1, & \text{se cloeziana} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$I_g = \begin{cases} 1, & \text{se grandis} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$I_u = \begin{cases} 1, & \text{se urophylla} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

## Resultados

Tabela 1 - Umidade ( $U$ ) e velocidade de propagação da ultra-sônica ( $V$ ) dos corpos de prova da espécie *Eucalyptus urophylla*

CP	$I_g$	$U$ (%)	$V$ (m/s)	CP	$I_g$	$U$ (%)	$V$ (m/s)	CP	$I_g$	$U$ (%)	$V$ (m/s)
U-1	0	20	4663	U-5	0	19	4942	U-9	0	18	4991
U-1	0	17	5091	U-5	0	15	5263	U-9	0	14	5125
U-1	0	13	5208	U-5	0	13	5236	U-9	0	12	5464
U-1	0	9	5319	U-5	0	10	5181	U-9	0	10	5319
U-1	0	6	5405	U-5	0	9	5208	U-9	0	7	5334
U-1	0	4	5435	U-5	0	6	5250	U-9	0	5	5405
U-2	0	20	4948	U-5	0	4	5277	U-10	0	18	4876
U-2	0	17	4848	U-6	0	18	5036	U-10	0	14	5125
U-2	0	13	5348	U-6	0	15	5405	U-10	0	12	5435
U-2	0	10	5181	U-6	0	13	5334	U-10	0	9	5391
U-2	0	7	5362	U-6	0	11	5263	U-10	0	6	5435
U-2	0	4	5464	U-6	0	8	5263	U-11	0	18	4963
U-3	0	21	4691	U-6	0	5	5236	U-11	0	14	5435
U-3	0	16	4991	U-7	0	19	4876	U-11	0	12	5334
U-3	0	12	5348	U-7	0	15	5105	U-11	0	9	5234
U-3	0	10	5236	U-7	0	13	5362	U-11	0	7	5291
U-3	0	6	5348	U-7	0	9	5334	U-11	0	5	5222
U-3	0	5	5391	U-7	0	7	5405	U-12	0	17	5005
U-4	0	21	4836	U-7	0	5	5420	U-12	0	14	5362
U-4	0	16	5181	U-8	0	19	4908	U-12	0	11	5291
U-4	0	14	5155	U-8	0	14	5263	U-12	0	10	5155
U-4	0	11	5050	U-8	0	12	5277	U-12	0	8	5236
U-4	0	8	5195	U-8	0	8	5236	U-12	0	3	5263
U-4	0	5	5236	U-8	0	6	5181				

Os resultados dos ensaios de ultra-som e da determinação do teor da umidade são apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente para os corpos de prova referentes às espécies *urophylla* e *grandis*. Os corpos de prova com numeração iniciada pela letra U são os referentes à espécie *urophylla* (Tabela 1) e as iniciadas com a letra G à espécie *grandis* (Tabela 2). Conforme mencionado anteriormente, não foi possível realizar ensaios de ultra-som nos corpos de prova da espécie *cloeziana* porque os mesmos fissuraram ao ar não podendo, assim, se obter corpo de prova aproveitável para essa espécie.

Tabela 2 - Umidade (*U*) e velocidade de propagação da ultra-sônica (*V*) dos corpos de prova da espécie *Eucalyptus grandis*

CP	<i>I<sub>g</sub></i>	<i>U</i> (%)	<i>V</i> (m/s)	CP	<i>I<sub>g</sub></i>	<i>U</i> (%)	<i>V</i> (m/s)	CP	<i>I<sub>g</sub></i>	<i>U</i> (%)	<i>V</i> (m/s)
G-1	1	20	4041	G-4	1	15	4577	G-8	1	17	4184
G-1	1	16	4553	G-4	1	14	4641	G-8	1	16	4255
G-1	1	14	4737	G-4	1	11	4720	G-8	1	13	4292
G-1	1	12	4557	G-4	1	8	4926	G-9	1	20	4283
G-1	1	9	4949	G-4	1	5	5000	G-9	1	17	4425
G-1	1	8	5102	G-5	1	21	4926	G-9	1	15	4386
G-1	1	6	5168	G-5	1	16	4975	G-9	1	12	4955
G-2	1	18	4628	G-5	1	14	4975	G-10	1	28	4367
G-2	1	15	5115	G-5	1	12	5076	G-10	1	25	4219
G-2	1	12	5208	G-5	1	11	4975	G-10	1	22	4320
G-2	1	9	5013	G-6	1	21	4292	G-10	1	18	4367
G-2	1	8	5128	G-6	1	17	4348	G-10	1	14	4667
G-2	1	5	5277	G-6	1	16	4292	G-10	1	13	4673
G-2	1	4	5345	G-6	1	14	4611	G-11	1	23	4651
G-3	1	24	4301	G-6	1	13	4255	G-11	1	19	4566
G-3	1	21	4608	G-6	1	10	4929	G-11	1	17	4652
G-3	1	17	4651	G-7	1	24	4132	G-11	1	13	4662
G-3	1	16	4525	G-7	1	21	4167	G-11	1	8	4598
G-3	1	14	4545	G-7	1	18	4124	G-12	1	23	4706
G-3	1	12	4808	G-7	1	16	4649	G-12	1	21	4695
G-3	1	9	4590	G-7	1	15	4582	G-12	1	17	4673
G-3	1	5	5358	G-7	1	13	5107	G-12	1	14	4762
G-4	1	23	4228	G-8	1	27	4283	G-12	1	11	4684
G-4	1	20	4115	G-8	1	23	4358	—	—	—	—
G-4	1	17	4237	G-8	1	20	4320	—	—	—	—



## Modelo de regressão

Modelo de regressão foi aplicado aos resultados a fim de relacionar o teor de umidade com a velocidade de propagação de onda ultra-sônica para as duas espécies de eucalipto, obtendo-se a Equação (2).

$$U = 81,3 - 3,79I_g - 0,0134V \quad (2)$$

onde  $U$  é o teor de umidade (%),  $V$  é a velocidade de propagação da onda ultra-sônica (m/s) e  $I_g$  é a variável indicadora da espécie *Eucalyptus grandis*.

Os detalhes da análise da regressão e da análise da variância são respectivamente apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Resultado da análise da regressão

Preditor	Coef	EP do coef	T	P
Constante	81,303	6,027	13,049	0,000
$I_g$	-3,7902	0,9128	-4,15	0,000
$V$	-0,013410	0,001154	-11,62	0,000

$S = 3,73513$      $R = 0,745$

Tabela 4 - Resultado da análise da variância

Fonte	GL	SQ	MSQ	F	P
Regressão	2	2450,9	1225,5	87,84	0,000
Residual	141	1967,1	14,0		
Total	143	4418,0			

O P-valor da Tabela 4 (0,000) indica que o modelo estimado pelo método de regressão é significativo no nível de significância de 0,05. Isso indica que pelo menos um coeficiente é diferente de zero. Os P-valores para ambas as variáveis preditoras, velocidade de propagação de onda ultra-sônica ( $V$ ) e variável indicadora ( $I_g$ ), e para o termo constante apresentam valores iguais a 0,000 (Tabela 3), indicando que são significativamente relacionados ao teor de umidade.

## Interpretação gráfica

No gráfico dos resíduos versus valores ajustados, apresentado na Figura 3, observa-se que os resíduos normalizados se apresentam em uma faixa horizontal, indicando que não há qualquer anormalidade e, portanto, a análise dos mínimos quadrados não parece ser invalidada.

O gráfico de probabilidade normal para os resíduos (Figura 4) mostra um padrão aproximadamente linear considerando, portanto, que a suposição de normalidade é válida.

Avalia-se então que os pressupostos para aplicação da análise de regressão são satisfatórios, validando o modelo proposto.

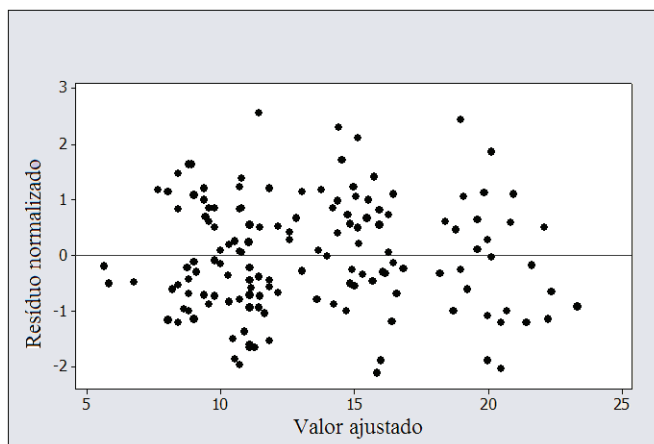


Figura 3 - Gráfico de resíduos versus valores ajustados

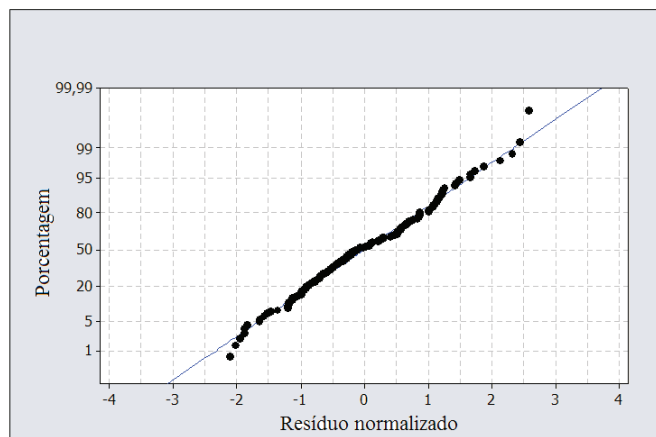


Figura 4 - Gráfico de probabilidade normal para os resíduos

## CONCLUSÃO

As velocidades de propagação da onda ultra-sônica foram medidas para duas espécies do gênero eucalipto (*grandis* e *urophylla*). Para a espécie *cloeziana* todos os corpos de prova racharam impedindo, assim, seu uso para a realização do ensaio por ultra-som. Os corpos de prova foram depois avaliados com objetivo de medir o teor de umidade. Os resultados foram estatisticamente tratados para correlacionar o teor de umidade com a velocidade de propagação da onda ultra-sônica. Uma equação analítica foi obtida para se estimar o teor de umidade em função da velocidade de propagação da onda ultra-sônica e das espécies utilizadas. Por meio da análise dos resíduos verificou-se que os pressupostos tanto da análise da regressão quanto da análise da variância não foram violados. A qualidade do ajuste do modelo aos dados observados mostrou-se estatisticamente satisfatória, podendo, assim ser utilizado para a determinação do teor de umidade em função da velocidade de propagação da onda ultra-sônica.

## AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a FAPEMIG pelo imprescindível apoio financeiro para a condução dessa pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES FILHO, M. Ultra-som é usado na avaliação de materiais. *Jornal da Universidade Estadual de Campinas*. Campinas, SP, Ed. 228, 8 a 14 de setembro de 2003. Disponível em: [http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp\\_hoje/jornalPDF/228-pag11.pdf](http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/jornalPDF/228-pag11.pdf). Acesso em 07/11/2013.

BUCUR, V.; BÖHNKE, I., Factors affecting ultrasonic measurements in solid wood. *Ultrasonics*. v.32, n.5, p.385-390, 1994.

BUCUR, V.; LACELEUR, P.; ROGE, B. Acoustic properties of wood in tridimensional representation of slowness surfaces. *Ultrasonics*, v.40, n.1a8. p.537-541, 2002.

CARRASCO, E. V. M.; AZEVEDO JÚNIOR, A. P. Avaliação não destrutiva de propriedades mecânicas de madeiras através de ultra-som – fundamentos físicos e resultados experimentais. *Cerne*, Lavras, v.9, n.2, p.178-191, 2003.

COSTA, O. A. L. Velocidade de propagação de ultra-som na madeira para diferentes condições de umidade. 92f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, 2005.

GONÇALVES, R.; COSTA, O. A. L. Acompanhamento da secagem da madeira de pinus, eucalipto e embuia utilizando ultra-som. In: *Anais do Congresso Ibero-Americano de Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos Florestais Não Madeiráveis*, Curitiba, CD-ROM, p.1-10, 2002.



GREEN, D.W.; EVANS, J.W.; LOGAN, J. D.; NELSON, W. J. Adjusting modulus of elasticity for changes in temperature. *Forest Products Journal*, Madison, v. 49, n. 10, p. 82-94, 1999.

GRUNDSTRÖM, F. Non-destructive testing of particle-board with sound and eigen frequency methods. 1998. 42f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Luleå University of Technology, Skellefteå, Suécia, 1998.

KAWAMOTO, S.; WILLIAMS, R. S. Acoustic emission and acoustic-ultrasonic techniques for wood and wood-based composites - A review. General Technical Report, FPL-GTR-134. Madison, U.S. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, 2002.

NBR 7190/97. Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997.

OLIVEIRA, F. G. R.; CANDIAN, M.; LUCCHETTE, F. F.; SALGON, J. L.; SALES, A. Moisture content effect on ultrasonic velocity in *Goupia glabra*. *Materials Research*, São Carlos, v.8, n.1, p.11-14, 2005a.

OLIVEIRA, F. G. R.; MILLER, K. P.; CANDIAN, M.; SALES, A. Influência da Seção Transversal na Velocidade Ultra-Sônica na Madeira de *Eucalyptus Citriodora*. *Cerne*, Lavras, v.11, n.2, p.197-203, 2005b.

SECT-MG, Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia do Governo do Estado de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.tecnologia.mg.gov.br/projetos-sectes.php>. Acesso em 13/08/2012.

SIMPSON, W. T. Relationship between speed of sound and moisture content of red oak and hard maple during drying. *Wood and Fiber Science*, Madison, v.30, n.4, p.405-413, 1998.

USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report, FPL-GTR-190. *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. Centennial Edition. Madison, WI, 2010.

VAN DYK, H.; RICE, R. W. Ultrasonic wave velocity as a moisture indicator in frozen and unfrozen lumber. *Forest Products Journal*, Madison, v.55, n.6, p. 68-72, 2005.